

KARAKTERISASI SIFAT TERMAL PADUAN AlFe(2,5%)Ni(1,5%) DAN AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) UNTUK KELONGSONG BAHAN BAKAR REAKTOR RISET

Aslina Br. Ginting, Boybul, Arif Nugroho

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN Serpong

e-mail: aslina@batan.go.id

(Naskah diterima: 09-11-2013, disetujui: 20-12-2013)

ABSTRAK

KARAKTERISASI SIFAT TERMAL PADUAN AlFe(2,5%)Ni(1,5%) DAN AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) UNTUK KELONGSONG BAHAN BAKAR REAKTOR RISET.

Karakterisasi sifat termal telah dilakukan terhadap paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%). Analisis sifat termal meliputi entalpi, temperatur peleburan dan temperatur perubahan fasa, kapasitas panas serta besaran konduktivitas panas. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakter sifat termal paduan AlFeNi sebagai alternatif kelongsong bahan bakar nuklir densitas tinggi. Analisis besaran entalpi, temperatur peleburan, temperatur perubahan fasa dan kestabilan panas dilakukan dengan menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA) dan untuk menganalisis sifat kapasitas panas digunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) serta alat Termalkonduktometer digunakan untuk mengetahui sifat konduktivitas panas kedua paduan tersebut. Hasil analisis dengan DTA menunjukkan bahwa ke dua paduan tersebut mempunyai kestabilan panas hingga temperatur 650°C. Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) mengalami reaksi termokimia 2 (dua) tahap, pada tahap pertama terjadi perubahan aliran panas membentuk puncak endotermik pada temperatur 656,26°C dengan membutuhkan panas sekitar $\Delta H=56,35$ cal/g. Pada temperatur 711,64°C terjadi reaksi tahap ke dua yang menunjukkan terjadinya reaksi secara langsung antara lelehan unsur Al dengan unsur Fe dan Ni pada titik eutektiknya. Reaksi ini membentuk senyawa Al-FeAl₃ dan Al-NiAl₃ dengan melepaskan panas sebesar $\Delta H=-13,95$ cal/g. Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) mengalami reaksi termokimia sebanyak 3 tahap. Reaksi tahap pertama terbentuk puncak endotermik pada temperatur 389,15°C dengan entalpi sebesar $\Delta H=1,13$ cal/g. Pada temperatur 654,52°C terjadi juga reaksi endotermik yang menunjukkan terjadinya perubahan fasa α menjadi (α +liquid) logam Al dengan Mg yang membutuhkan panas sebesar $\Delta H=2,75$ cal/g. Reaksi tahap ketiga terjadi pada temperatur 562,41°C yang ditandai dengan terbentuknya puncak endotermik yang menunjukkan proses peleburan logam Al dan Mg, sekaligus terjadi pembentukan senyawa AlMg dengan membutuhkan panas reaksi sebesar $\Delta H=56,22$ cal/g. Hasil analisis kapasitas panas dan konduktivitas panas menunjukkan bahwa penambahan logam Mg 1% meningkatkan kapasitas panas dan konduktivitas panas kedua paduan. Paduan AlFe(2,5%)(Ni1,5%) mempunyai kapasitas panas sebesar 0,60 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,90 J/g°C pada temperatur 450°C, sedangkan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg1% mempunyai kapasitas panas sebesar 0,64 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,142 J/g°C pada temperatur 450°C. Paduan AlFe(2,5%)(Ni1,5%) mempunyai konduktivitas panas sebesar 235 W/m^oK pada temperatur 25°C hingga 185,5 W/m^oK pada temperatur 200°C dan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg1% mempunyai konduktivitas panas

sebesar 240,4 W/m^oK pada temperatur 25°C hingga 192,3 W/m^oK pada temperatur 200°C. Namun, kedua paduan tersebut mempunyai kapasitas panas maupun konduktivitas panas yang menurun dengan naiknya temperatur pemanasan.

Kata kunci: Paduan AlFeNi, entalpi, kesetabilan panas, kapasitas panas, dan konduktivitas panas

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THERMAL CHARACTERISTIC OF AlFe(2,5%)Ni(1,5%) AND AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) ALLOYS FOR RESEARCH REACTOR CLADDING. *This research deals with thermal characterization of AlFe(2,5%)Ni(1,5%) and AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) alloys which previously produced. The thermal characterization includes enthalpy analysis, phase change temperature, heat capacity, and heat conductivity. The enthalpy analysis and phase change temperature and heat stability measurement was done using Differential Thermal Analysis (DTA), while the heat capacity measurement was performed by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and the heat conductivity measurement was done using Thermal conductometer. The analysis using DTA shows that both alloys has a thermal stability at 650°C. The AlFe(2,5%)Ni(1,5%) alloy underwent 2 steps of thermochemical reaction. The first thermochemical reaction showed the occuramce of heat flow change forming endothermic peak at 656,26°C and at $\Delta H=56,35$ cal/g. The endothermic reaction indicates the melting of Al contained in the AlFe(2,5%)Ni(1,5%) alloy. The second thermochemical reaction occured at 711,64°C, which indicates that the melted Al directly reacted with Fe and Ni at their eutectic point to form Al-FeAl₃ and Al-NiAl₃. The occurrence of reaction of Al with Fe and Ni was indicated by exothermic thermochemical reaction releasing an amount of heat with appoximate $\Delta H= -13,95$ cal/g. The AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) alloy, on the other hand, underwent 3 steps thermochemical reaction. The first reaction resulted in endothermic peak at 389,15°C with enthalpy $\Delta H= 1,13$ cal/g. This endothermic reaction indicates that there is a reaction between Mg and N₂ gas contained in the argon used as media for the measurement to form Mg₃N₂. Endothermic reaction also occured at 654,52°C, which indicates the occurrence of phase change point from α phase to α +liquid of Al and Mg requiring $\Delta H= 2,75$ cal/g. The third reaction occured at 562,41°C, which was indicated by endothermic peak. This reaction suggests the burning of Al and Mg to form AlMg with $\Delta H= 56,22$ cal/g. The heat capacity and heat conductivity analysis shows that the addition of 1% Mg may have increased the heat capacity and heat conductivity of both alloys. The heat capacity of AlFe(2,5%)(Ni1,5%) alloy ranged from 0,60 J/g°C at 35°C to 0,90 J/g°C at 450°C, while the heat capacity of AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg1% alloy ranged from 0,64 J/g°C at 35°C to 0,142 J/g°C at 450°C. The heat conductivity analysis showed that the heat conductivity of AlFe(2,5%)(Ni1,5%) ranged from 235 W/m°C at 25°C to 185,5 W/m°C at 200°C, while the heat conductivity of AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg1% ranged from 240,4 W/m°C at 25°C to 192,3 W/m°C at 200°C. It is also studied that heat capacity and heat conductivity of both alloys decrease with increasing heating temperature.*

Keyword : AlFeNi alloy, enthalpy, heat stability, heat capacity, and conductivity.

PENDAHULUAN

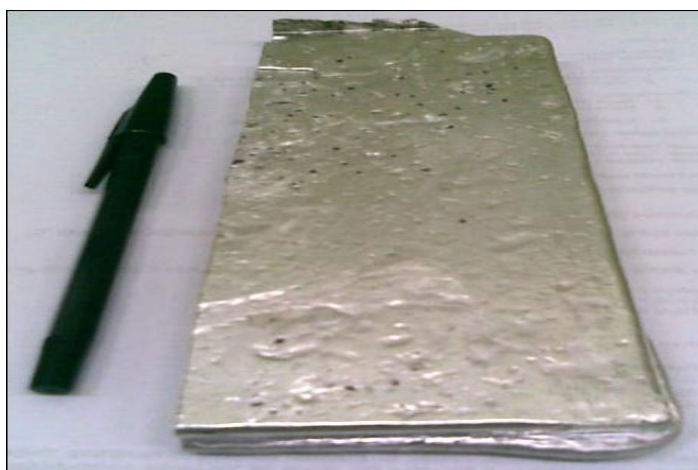
Bahan bakar jenis U₃Si₂-Al maupun UMo-Al dengan densitas lebih tinggi dari 5,2 gU/cm³ mempunyai kekerasan yang lebih besar bila dibandingkan dengan bahan bakar

dengan densitas 2,96 gU/cm³. Hal ini akan menyebabkan terjadinya efek *dogbone* di dalam proses perolan pada saat pabrikasi [1]. Fenomena tersebut tidak diinginkan, sehingga perlu untuk mengembangkan kelongsong yang lebih kompatibel dengan

bahan bakar sekaligus sebagai pengganti kelongsong AlMg₂. Paduan aluminium seperti paduan aluminium-besi - nikel (AlFeNi) merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai kelongsong bahan bakar nuklir densitas tinggi. Beberapa kajian yang telah dilakukan di berbagai negara seperti Perancis menunjukkan bahwa paduan AlFeNi memiliki sifat kestabilan panas, sifat mekanik dan konduktivitas panas yang baik^[2]. Fungsi penambahan unsur Fe dan Ni dengan kandungan tertentu di dalam paduan AlFeNi adalah untuk memberi kekuatan pada bahan dan menambah ketahanan pada temperatur

tinggi tanpa menurunkan konduktivitas panas, sehingga dipandang baik bila digunakan sebagai kelongsong bahan bakar densitas tinggi^[3,4]. Kandungan unsur Fe di dalam paduan tersebut juga relatif kecil dan unsur Fe mengalami larut padat di dalam struktur Al, sehingga untuk dapat lepas dari paduan AlFeNi membutuhkan energi yang besar dan temperatur yang relatif tinggi.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pembuatan paduan AlFeNi dengan variasi kandungan Fe dan Ni masing-masing mulai 1% hingga 15%^[5]. Salah satu contoh bentuk paduan AlFeNi yang diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh hasil peleburan paduan AlFeNi

Terhadap paduan AlFeNi dengan variasi kandungan Fe dan Ni mulai dari 1% hingga 15% juga telah dilakukan analisis termal. Hasil analisis menunjukkan bahwa paduan AlFeNi dengan komposisi Fe dan Ni masing-masing 1% sampai 4% mempunyai temperatur lebur, entalpi peleburan serta entalpi pembentukan senyawa Al-FeAl₃ dan Al-NiAl₃ yang relatif sama^[5]. Paduan AlFeNi dengan komposisi 6% sampai 15% mengalami reaksi eksotermik yang cukup besar dan melepaskan sejumlah panas yang cukup besar sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas panas. Fenomena ini dalam kelongsong bahan bakar tidak diinginkan

karena dapat mengurangi kekuatan mekanik dan merubah sifat bahan kelongsong AlFeNi karena dapat menyebabkan paduan AlFeNi yang fungsinya sebagai kelongsong atau pembungkus elemen bahan bakar tidak kompatibel.

Hasil analisis termal pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa paduan AlFeNi dengan kandungan Fe dan Ni sekitar 1% sampai 4% mempunyai sifat termal yang lebih baik bila dibandingkan dengan paduan AlFeNi dengan komposisi Fe dan Ni sebesar 6% sampai 15%^[5,6]. Hasil kajian dari beberapa literatur juga menunjukkan bahwa

paduan AlFeNi dengan kandungan 2,5% Ni memiliki sifat kestabilan panas, sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik^[6,7]. Namun, dari literatur belum diketahui karakter termal paduan AlFeNi secara menyeluruh antara lain konduktivitas panas sebagai persyaratan paduan untuk digunakan sebagai kelongsong bahan bakar. Untuk mengetahui apakah paduan AlFeNi dengan komposisi Fe dan Ni 1% sampai 4% dapat digunakan sebagai alternatif kelongsong bahan bakar reaktor riset, maka pada penelitian lanjutan akan dipelajari pengaruh penambahan unsur Mg ke dalam paduan AlFeNi dengan kandungan 2,5 % Fe dan 1,5% Ni. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui karakter sifat termal paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) Mg (1%) sebagai kelongsong bahan bakar nuklir reaktor riset dengan densitas tinggi.

Karakterisasi termal ini dilakukan sebagai data akademik untuk memperkuat data sebelumnya. Tujuan penambahan Mg adalah untuk meningkatkan konduktivitas panas dan kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) . Hipotesis ini diambil berdasarkan bahwa dengan penambahan unsur Mg 1% terhadap paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) diduga dapat meningkatkan kapasitas panas dan konduktivitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%), karena besaran kapasitas panas dan konduktivitas panas salah satu persyaratan bila paduan tersebut dibuat menjadi kelongsong bahan bakar. Logam Mg mengalami larut padat dengan Al menjadi AlMg- α Al dan mengalami transformasi panas yang relatif besar sehingga berdampak kepada kenaikan kapasitas panas maupun konduktivitas panas paduan AlFeNi. Dalam usaha untuk membuktikan hipotesis tersebut maka dilakukan analisis sifat termal terhadap paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%). Analisis termal yang dianalisis meliputi temperatur lebur, perubahan entalpi, kestabilan panas, konduktivitas panas dan kapasitas panas terhadap ingot paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan penambahan

logam Mg 1% dengan variasi waktu pemanasan 1,5 jam, 3 jam dan 4,5 jam pada temperatur 500 °C.

TATA KERJA

Bahan dan peralatan

Penelitian ini menggunakan bahan ingot paduan AlFeNi dengan komposisi Fe 2,5% dan Ni 1,5% atau AlFe2,5%Ni1,5% dan AlFe2,5%Ni1,5% Mg 1%. Alat yang digunakan untuk mengetahui temperatur lebur, entalpi, kestabilan terhadap panas, perubahan fasa, dan temperatur reaksi termik adalah seperangkat peralatan *Differential Thermal Analysis* (DTA) yang dilengkapi dengan timbangan analitik , *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang digunakan untuk menganalisis sifat kapasitas panas. Termalkonduktometer adalah alat yang digunakan untuk mengetahui sifat konduktivitas panas dari paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%).

Cara kerja

Paduan ingot AlFeNi dengan kandungan Fe 2,5% dan Ni 1,5 % ditimbang seberat 100 mg dan di masukkan ke dalam krusibel alumina, kemudian diletakkan di dalam *chamber DTA rod* untuk divakum sampai tekanan 10^{-2} bar. Setelah kevakuman tercapai, kemudian dialiri dengan gas argon UHP dengan tekanan 2,5 bar. Selanjutnya DTA rod dipanaskan dari temperatur 30°C sampai 1000°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit. Hasil analisis berupa termogram TG-DTA kemudian dievaluasi untuk mengetahui temperatur lebur, entalpi, kesetabilan panas, perubahan fasa, dan temperatur reaksi termik. Hal yang sama dengan kondisi pengoperasian yang sama dilakukan juga terhadap paduan ingot AlFeNi dengan kandungan Fe 2,5% dan Ni 1,5 % yang ditambah logam Mg 1%. Sementara itu, untuk analisis konduktivitas panas dilakukan dengan menggunakan Termalkondukto-

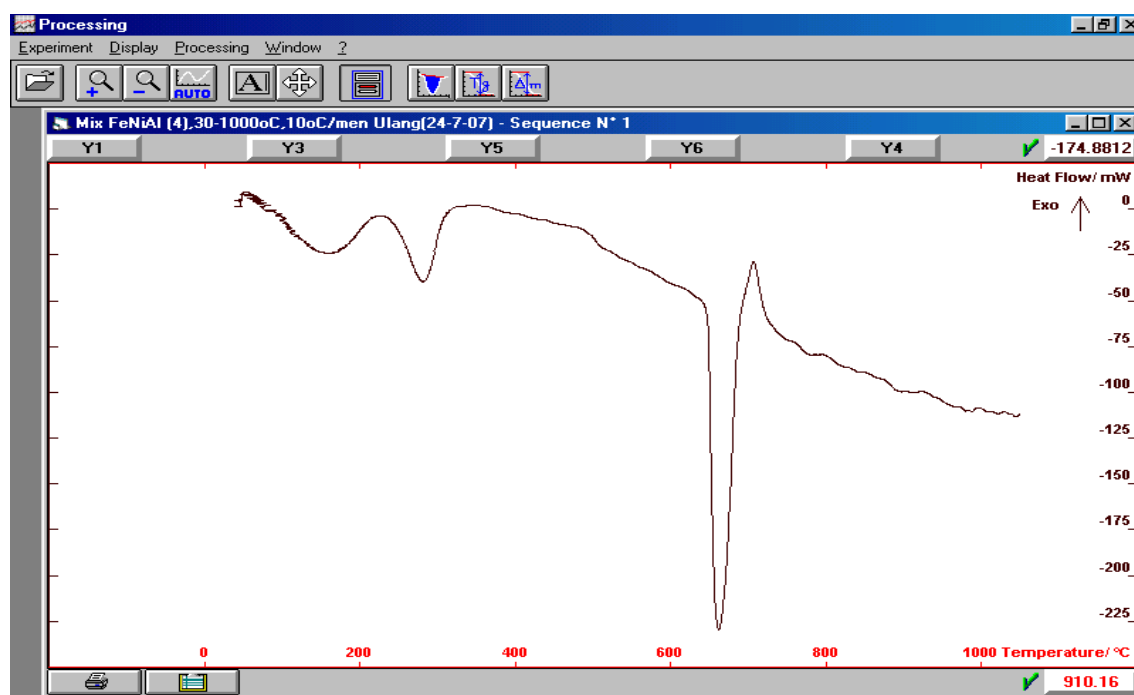
meter dan analisis kapasitas panas menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* pada temperatur 30°C sampai 500°C dengan kecepatan pemanasan 5°C/menit pada variasi waktu pemanasan 1,5 jam 3 jam dan 4,5 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis entalpi, tempertur lebur dan kestabilan panas

Analisis termal meliputi temperatur lebur, entalpi, kestabilan panas telah dilakukan terhadap paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) menggunakan alat *Differential Thermal Analysis* (DTA). Hasil analisis menunjukkan bahwa besaran entalpi dan temperatur lebur ditandai dengan adanya perubahan aliran panas (*heat flow*) pada termogram DTA paduan

AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Perubahan aliran panas (*heat flow*) pada Gambar 2 menunjukkan bahwa paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) mengalami reaksi termokimia 2 (dua) tahap. Pada tahap pertama terjadi perubahan aliran panas membentuk puncak endotermik pada temperatur 656,26°C yang membutuhkan panas sekitar $\Delta H=56,35$ cal/g. Reaksi endotermik tersebut menunjukkan terjadinya peleburan unsur Al yang terkandung di dalam paduan AlFeNi. Pada temperatur 711,64°C terjadi reaksi tahap ke dua yang menunjukkan reaksi secara langsung antara lelehan unsur Al dengan unsur Fe dan Ni pada titik eutektiknya membentuk senyawa Al-FeAl₃ dan Al-NiAl₃^[1,3]. Reaksi termokimia eksotermik antara lelehan Al dengan Fe dan Ni melepaskan sejumlah panas sekitar $\Delta H=-13,95$ cal/g.



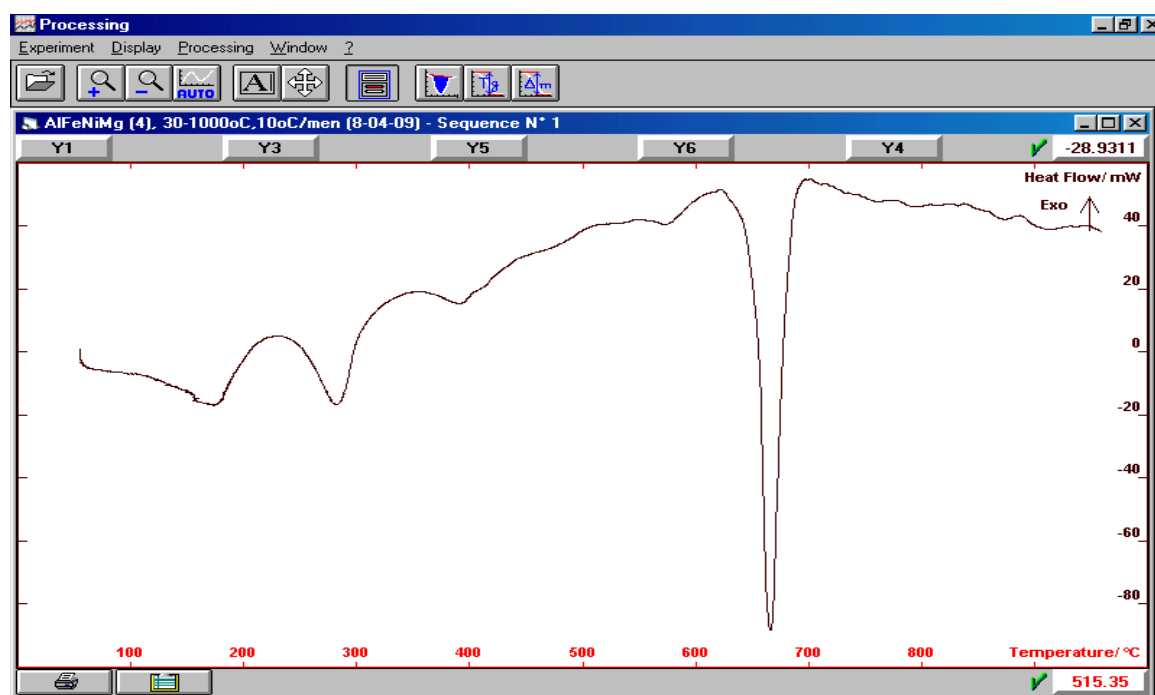
Gambar 2. Termogram DTA Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%).

Hasil analisis termal paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan

bahwa pemanasan hingga temperatur 1000°C, terjadi perubahan aliran panas membentuk puncak endotermik pada

temperatur sekitar 200°C dan 285°C. Fenomena ini tidak menunjukkan terjadinya reaksi termokimia terhadap paduan AlFe(2,5%Ni(1,5%Mg(1%)), namun fenomena tersebut menunjukkan bahwa DTA *rod* yang digunakan mulai stabil pada temperatur 300°C. Dari Gambar 3 tersebut, dapat diketahui bahwa paduan AlFe(2,5%Ni(1,5%Mg(1%)) mengalami reaksi termokimia sebanyak 3 tahap. Reaksi termokimia tahap pertama terbentuk puncak endotermik pada temperatur 389,15°C dengan entalpi sebesar $\Delta H = 1,13$ cal/g. Reaksi endotermik ini menunjukkan adanya reaksi Mg dengan gas N₂ membentuk senyawa Mg₃N₂, dimana gas N₂ tersebut merupakan kandungan yang terdapat di dalam gas argon UHP sebagai media pengukuran. Pada temperatur 562,41°C terjadi juga reaksi endotermik yang menunjukkan terjadinya titik perubahan fasa α menjadi (α + liquid) logam Al dengan Mg yang membutuhkan panas sebesar $\Delta H = 2,75$ cal/g. Hal ini didukung oleh data

diagram fasa AlMg yang terdapat pada pustaka^[6], sedangkan reaksi tahap ke tiga terjadi pada temperatur 654,52°C yang ditandai dengan terbentuknya puncak endotermik yang menunjukkan terjadi proses peleburan logam Al dan Mg sekaligus pembentukan senyawa AlMg yang membutuhkan panas reaksi sebesar $\Delta H = 56,22$ cal/g. Fenomena reaksi termokimia pada Gambar 3 menginformasikan bahwa setelah terjadi pembentukan senyawa AlMg pada temperatur 654,52°C, tidak terjadi lagi reaksi eksotermik unsur Al dengan unsur Fe maupun dengan unsur Ni dalam pembentukan senyawa baru Al-FeAl₃ atau Al-NiAl₃ seperti yang terjadi pada Gambar 2. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada termogram DTA Gambar 3, unsur Al bereaksi sangat kuat dengan unsur Mg membentuk senyawa AlMg dan tidak bereaksi dengan unsur Fe dan Ni seperti yang terjadi pada fenomena reaksi termokimia Gambar 2.



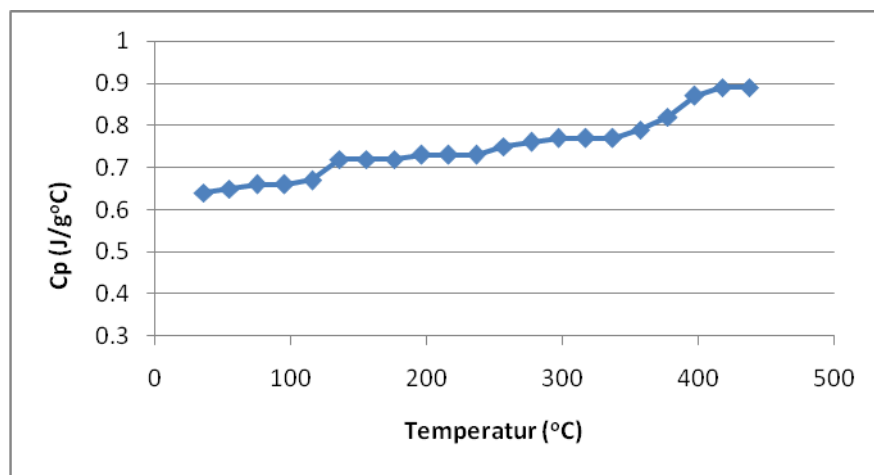
Gambar-3. Termogram DTA Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) Mg(1%).

Fenomena ini terjadi karena unsur Al lebih mudah bereaksi dengan Mg dibandingkan dengan unsur Fe atau Ni karena unsur Al dan Mg berada dalam satu periode yaitu periode III pada sistem periodik sedangkan unsur Fe dan Ni berada pada periode IV sehingga unsur Al dengan Mg mudah membentuk ikatan logam^[7].

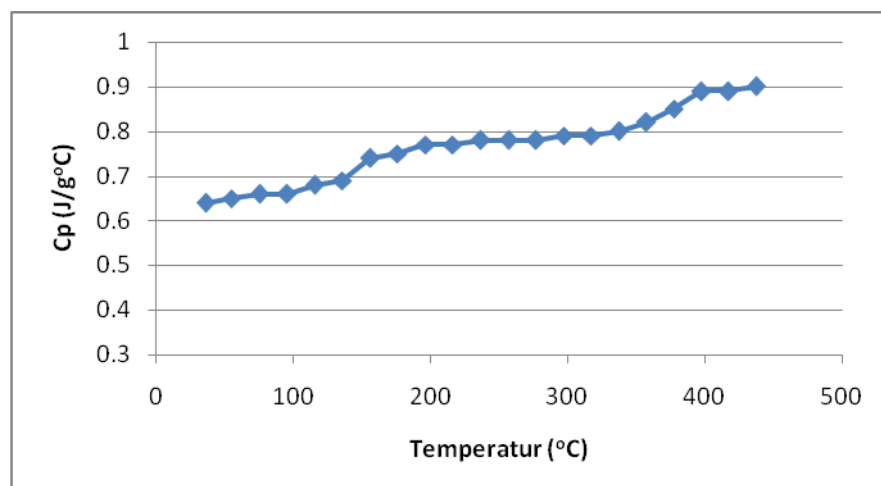
Analisa kapasitas panas ($C_p = J/g^{\circ}C$)

Analisis kapasitas panas ($C_p = J/g^{\circ}C$) dilakukan terhadap paduan

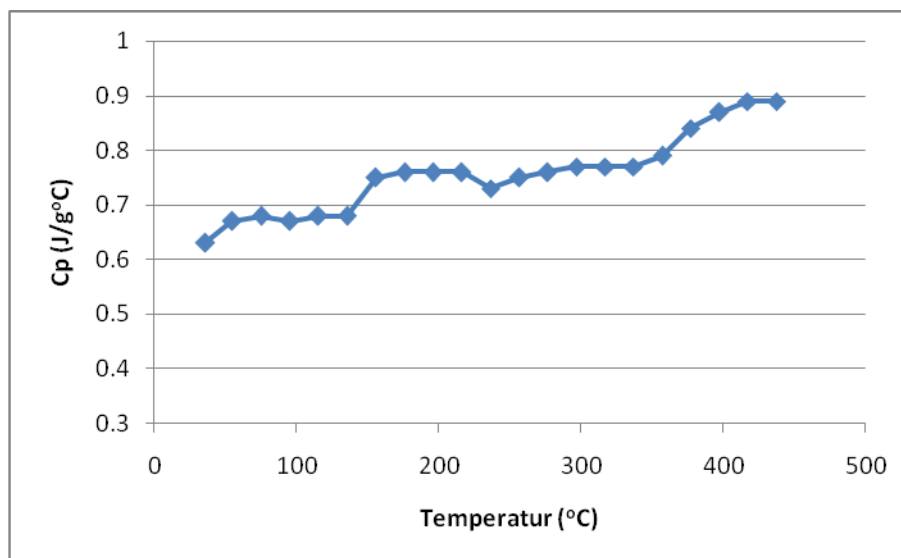
AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) tanpa perlakuan pemanasan dan dengan perlakuan pemanasan. Pemanasan dilakukan pada temperatur $500^{\circ}C$ dengan variasi waktu pemanasan 1,5 jam; 3 jam dan 4,5 jam menggunakan alat DSC. Hasil analisis kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) tanpa perlakuan pemanasan dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan perlakuan pemanasan pada temperatur $500^{\circ}C$ dituangkan pada Gambar 4a s/d 4d.



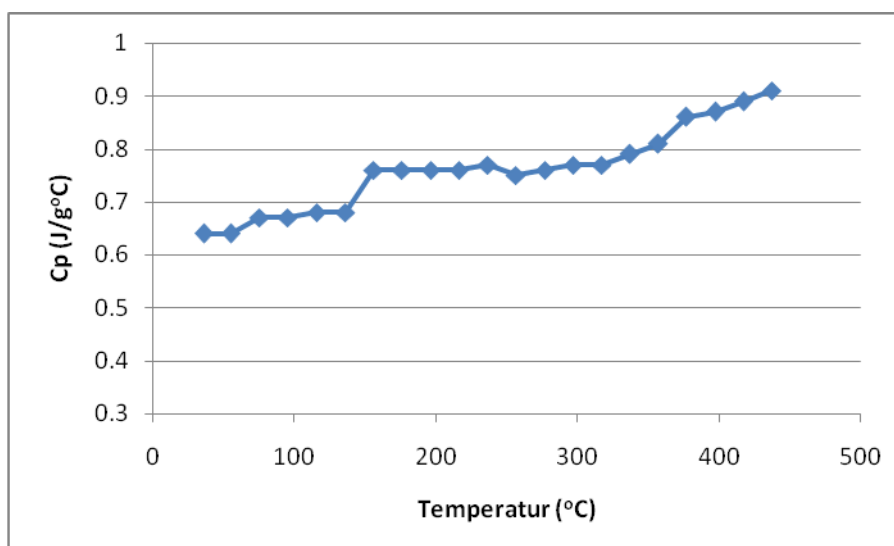
Gambar 4a. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) tanpa pemanasan



Gambar 4b. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan pemanasan pada temperatur $500^{\circ}C$, selama 1,5 jam



Gambar 4c. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan pemanasan



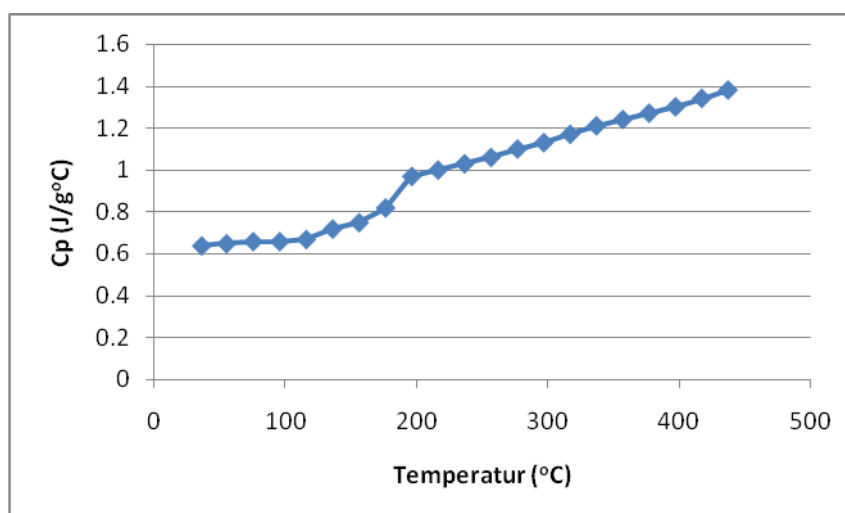
Gambar 4d. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan pemanasan pada temperatur 500°C, selama 4,5 jam

Gambar 4a s/d 4d menunjukkan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) mempunyai kapasitas panas bertambah besar dengan naiknya temperatur yaitu sebesar 0,60 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,90 J/g°C pada temperatur 450°C. Hal ini disebabkan karena meningkatnya temperatur akan menyebabkan meningkatnya energi dalam (*latent heat*) dari paduan tersebut. Pada temperatur 0°C (tanpa pemanasan), atom-atom mempunyai energi terendah sehingga atom-atom

tersebut tidak bergerak, sedangkan bila temperatur naik, maka energi dalam yang terdapat pada paduan tersebut akan meningkat sehingga atom-atom bergetar dengan jarak antar atom semakin besar juga. Namun, adanya perlakuan panas hingga temperatur 500°C dengan variasi waktu pemanasan 1,5 jam ; 3 jam dan 4,5 jam tidak memberikan perbedaan besaran kapasitas panas yang signifikan. Hal ini di buktikan dengan melakukan uji beda (uji F) antara

paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) tanpa perlakuan dengan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan perlakuan pemanasan pada temperatur 500°C. Hasil uji F kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) tanpa perlakuan dibanding dengan kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan perlakuan pemanasan pada temperatur 500°C diperoleh sebesar 0,7465. Hasil uji F kapasitas panas dari pengukuran tersebut dibandingkan dengan uji F dari Tabel ANOVA^[8,9] pada derajat kepercayaan $\alpha = 0,05$ diperoleh sebesar 3,49, sehingga diperoleh nilai uji F pengukuran < F Tabel. Dapat dinyatakan bahwa paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) tanpa perlakuan dan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dengan perlakuan pemanasan pada temperatur 500°C tidak mempunyai perbedaan kapasitas panas yang signifikan.

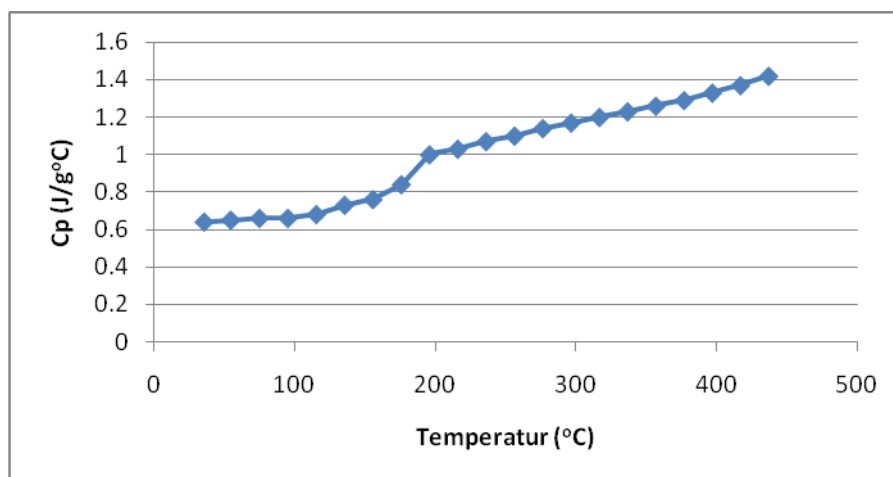
Analisis kapasitas panas juga dilakukan terhadap paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg (1%). Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan unsur Mg sangat meningkatkan besaran kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg (1%) seperti yang terlihat pada Gambar 5a s/d 5d. Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) mempunyai kapasitas panas sebesar 0,60 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,90 J/g°C pada temperatur 450°C, sedangkan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg (1%) mempunyai kapasitas panas sebesar 0,64 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,142 J/g°C pada temperatur 450°C. Penambahan kandungan Mg di dalam paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) menyebabkan kapasitas panas paduan tersebut semakin besar.



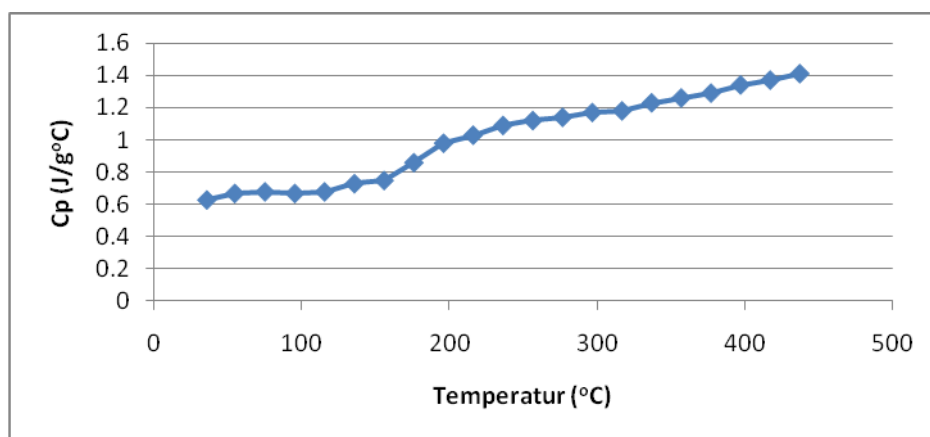
Gambar 5a. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) tanpa pemanasan

Hal ini disebabkan karena terjadi ikatan logam yang kuat antara Al dengan Mg membentuk AlMg. Dimana paduan tersebut mempunyai jarak antar atom yang relatif sama sehingga terjadi ikatan logam antara Al

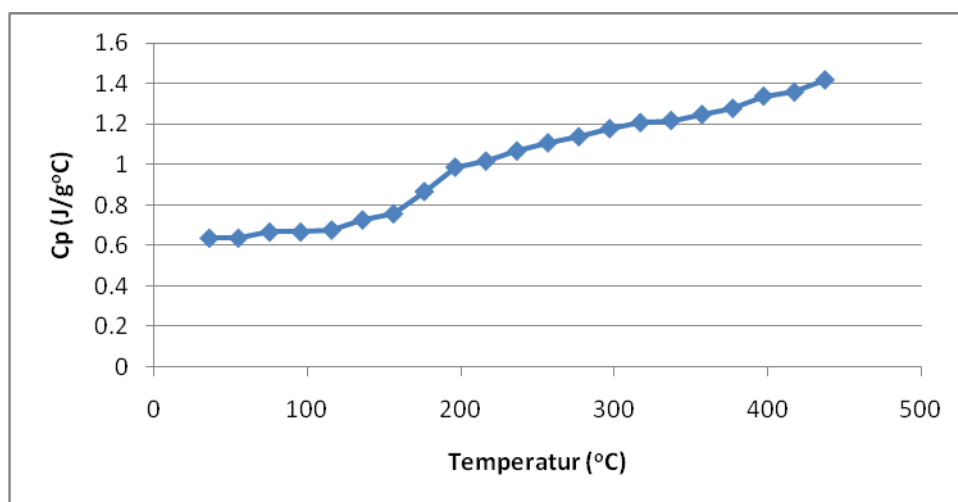
dengan Mg yang membentuk senyawa semakin kuat dan tidak mudah terdeformasi yang menyebabkan paduan AlMg menyerap panas yang lebih besar.



Gambar 5b. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) dengan pemanasan pada temperatur 500 $^{\circ}C$, selama 1,5 jam



Gambar 5c. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) dengan pemanasan pada temperatur 500 $^{\circ}C$, selama 3 jam



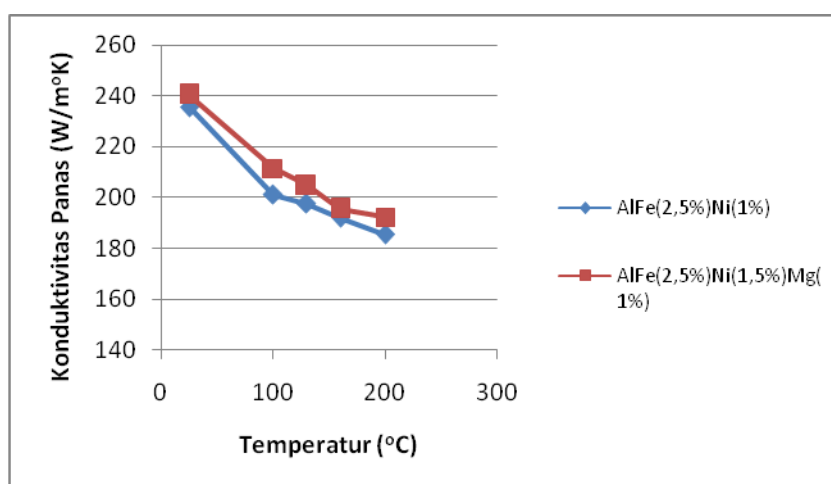
Gambar 5d. Kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) dengan pemanasan pada temperatur 500 $^{\circ}C$, selama 4,5 jam

Gambar 5a s/d 5d menunjukkan bahwa adanya perlakuan panas hingga temperatur 500°C dengan variasi waktu pemanasan 1,5 jam ; 3 jam dan 4,5 jam tidak memberikan perbedaan besaran kapasitas panas yang signifikan. Hal ini di buktikan dengan melakukan uji beda (uji F) antara kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) tanpa perlakuan dengan kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) dengan perlakuan pemanasan pada temperatur 500°C . Hasil uji F kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) tanpa perlakuan dibanding dengan kapasitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) dengan perlakuan pemanasan pada temperatur 500°C sebesar 0,4575. Hasil uji F kapasitas panas

dari pengukuran tersebut dibanding-kan dengan uji F dari Tabel ANOVA^[7,8] pada derajat kepercayaan $\alpha = 0,05$ sebesar 2,53, sehingga diperoleh nilai uji F pengukuran < F Tabel , sehingga dapat dinyatakan bahwa paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) tanpa perlakuan dan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) perlakuan pemanasan pada temperatur 500°C tidak mempunyai perbedaan kapasitas panas yang signifikan.

Analisa konduktivitas panas ($k = \text{W/m}^{\circ}\text{K}$)

Telah dilakukan analisis konduktivitas panas terhadap paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konduktivitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%)

Gambar 6 menunjukkan bahwa penambahan logam Mg 1% dapat meningkatkan besaran konduktivitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%). Hal ini disebabkan karena di dalam paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) telah terjadi ikatan logam antara unsur Al dengan Mg membentuk AlMg. Ikatan logam AlMg yang terjadi lebih kuat dan stabil dibandingkan dengan ikatan AlFeNi, sehingga paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) mempunyai susunan atom–atom yang lebih baik dengan jarak antar atom di dalam paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) lebih kecil.

Fenomena ini menyebabkan pengurangan hambatan aliran panas (*heat flow*) di dalam paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) karena mempunyai jarak antar atom lebih kecil.

Gambar 6 juga menunjukkan bahwa paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) maupun AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) mempunyai besaran konduktivitas panas yang menurun dengan naiknya temperatur. Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%), pada temperatur 25°C mempunyai konduktivitas panas sekitar $235 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ dan mengalami penurunan menjadi $201,2 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ pada temperatur

100 °C. Meningkatnya temperatur pemanasan hingga temperatur 130°C menyebabkan penurunan besaran konduktivitas panas dari 197,7 W/m^oK menjadi 191,9 W/m^oK pada temperatur 160°C, sampai akhir pemanasan pada temperatur 200°C paduan AlFe(2,5%)Ni((1,5%) mempunyai konduktivitas panas sebesar 185,5 W/m^oK. Paduan AlFe(2,5%)Ni((1,5%)Mg(1%) mempunyai konduktivitas panas sebesar 240,4 W/m^oK pada temperatur 25°C dan mengalami penurunan menjadi 211,5 W/m^oK pada temperatur 100°C. Pemanasan lebih lanjut pada temperatur 130°C terjadi penurunan konduktivitas panas mulai dari 204,8 W/m^oK menjadi 195,6 W/m^oK pada temperatur 160°C. Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) mempunyai besaran konduktivitas panas sebesar 192,3 W/m^oK hingga akhir pemanasan pada temperatur 200°C. Penurunan besaran konduktivitas panas paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) tersebut disebabkan oleh meningkatnya laju pemanasan yang mengakibatkan energi vibrasi atom-atom menjadi meningkat sehingga jarak antar atom (*lattice parameter*) menjadi besar^[10]. Bertambah besarnya jarak antar atom menyebabkan adanya kekosongan atom sehingga aliran panas di dalam paduan akan terhambat dengan kata lain terjadi penurunan konduktivitas panas.

SIMPULAN

Paduan AlFe(2,5%)Ni((1,5%) dan AlFe(2,5%)Ni((1,5%)Mg(1%) stabil terhadap panas hingga temperatur 650°C. Diatas temperatur tersebut paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) telah mengalami reaksi termokimia endotermik pada temperatur 656,26°C dengan $\Delta H=2,75$ cal/g, sedangkan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) mengalami reaksi termokimia endotermik pada temperatur 562,41°C dengan $\Delta H=56,22$ cal/g. Penambahan logam Mg 1% ke dalam paduan AlFe(2,5%)(Ni1,5%) tidak mengubah

temperatur perubahan fasa α menjadi (α +liquid) Al + Mg, juga tidak mengubah temperatur peleburan Al dan Mg. Namun, penambahan logam Mg mengubah besaran kapasitas panas dan konduktivitas panas dari paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%). Hasil analisis kapasitas panas dan konduktivitas panas menunjukkan bahwa penambahan logam Mg 1% sangat meningkatkan kapasitas panas maupun konduktivitas panas dari paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%). Paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) mempunyai kapasitas panas sebesar 0,60 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,90 J/g°C pada temperatur 450°C, sedangkan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg(1%) mempunyai kapasitas panas sebesar 0,64 J/g°C pada temperatur 35°C hingga 0,142 J/g°C pada temperatur 450°C. Sementara itu, paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%) mempunyai konduktivitas panas sebesar 235 W/m^oK pada temperatur 25°C hingga 185,5 W/m^oK pada temperatur 200°C dan paduan AlFe(2,5%)Ni(1,5%)Mg (1%) mempunyai konduktivitas panas sebesar 240,4 W/m^oK pada temperatur 25°C hingga 192,3 W/m^oK pada temperatur 200°C. Namun kedua paduan tersebut mempunyai kapasitas panas maupun konduktivitas panas yang menurun dengan naiknya temperatur pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Olivares.L,et.al, (2007), "Nuclear Fuel Development Based on UMo Alloys under Irradiation Evaluation of LEU U₃Si₂ – 4,8gU/cm³ Test Fuel", The RERTR-2007 International Meeting on RERTR, Prague, Chech Republic, September 23-27.
- [2]. Aslina Br.Ginting, M.Husna AlHasa, (2009), "Reaksi Termokimia Paduan AlFeNi Dengan Bahan Bakar U₃Si₂-Al", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol. 5 No.1, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN. ISSN 1907-

- 2635.Terakreditasi.No.Akreditasi
82/Akred-LIPI/P2MBI/ 5 /2007.
- [3]. Ballagny.A, (2007), " Main Technical of the Jules Horowitz Reactor Project to Achieve High Flux Performances and High Safety Level /http/www.anl.gov".
- [4]. Ballagny.A, (2007), " Situation of Technological Irradiation Reactor A Progress Report on the Jules Horowitz Reactor Project to /http/www.anl.gov".
- [5]. Aslina Ginting, (2008), " Analisis Sifat Termal Paduan AlFeNi Sebagai Kelongsong Bahan Bakar Reaktor Riset", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, PTBN-BATAN, No ISSN 1907-2635.
- [6]. L.E. Mondolfo, (1976), "Aluminium Alloy Structure and Properties", Butterworths, London-Boston, page 532 and 945.
- [7]. Jhon E.Hatch,(1984) , Aluminium Properties and Physical Metallurgy, American Society For Metals, Metals Park, Ohio, page 154.
- [8]. ASTM, (2002) "Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity By DSC", No E-968-99 Volume 14.02 .
- [9]. Robert L, Anderson , (1987), "Practical Statistics for Analytical Chemists" Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- [10]. William F.Smith, (1976), "Principle of Materials Science And Engineering", Second Edition, McGraw-Hill Publishing Company, New York, page 134 and 243.